

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-230728

(43)Date of publication of application : 24.08.2001

(51)Int.Cl.

H04B 10/02

H04B 10/18

(21)Application number : 2000-402352

(71)Applicant : ALCATEL

(22)Date of filing : 28.12.2000

(72)Inventor : DESTHIEUX BERTRAND
FRANCOIS-XAVIER OLLIVIER
PENNINCKX DENIS

(30)Priority

Priority number : 1999 9916721 Priority date : 30.12.1999 Priority country : FR

(54) POLARIZED WAVE DISPERSION COMPENSATION DEVICE IN OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a polarized wave dispersion compensation device for reducing the manufacture cost by utilizing the fact that the majority of digital optical transmission systems applies an error detection/correction method so as to increase the transmission speed and a transmission distance supplied by an optical fiber.

SOLUTION: This device compensates the polarized wave dispersion of a link by processing received optical signals Sr by using a polarization controller PC, a means DDG for generating a group delay time difference between two orthogonal polarization modes and the control means CU of the polarization controller PC. Transmission data are redundant so as to detect an error for damaging reception data and the control means CU is constituted so as to minimize a bit error rate calculated in real time from the redundant data. It is applied to long distance optical transmission through a standard fiber.

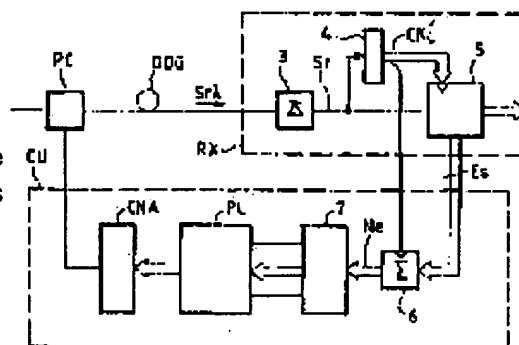


FIG. 3

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-230728
(P2001-230728A)

(43)公開日 平成13年8月24日(2001.8.24)

(51)Int.Cl.⁷
H 0 4 B 10/02
10/18

識別記号

F I
H 0 4 B 9/00

メモ(参考)
M

審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全9頁)

(21)出願番号 特願2000-402352(P2000-402352)
(22)出願日 平成12年12月28日(2000.12.28)
(31)優先権主張番号 9916721
(32)優先日 平成11年12月30日(1999.12.30)
(33)優先権主張国 フランス(FR)

(71)出願人 391030332
アルカテル
フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ
エテイ 54
(72)発明者 ベルトラン・デステュー
フランス国、75015・パリ、リュ・ドユ・
コマンダン・レアンドウリ、8
(72)発明者 フランソワ・グザビエ・オリビエ
フランス国、91630・ギベビル、リュ・ド
ユ・シヤトー、8
(74)代理人 100062007
弁理士 川口 義雄 (外2名)

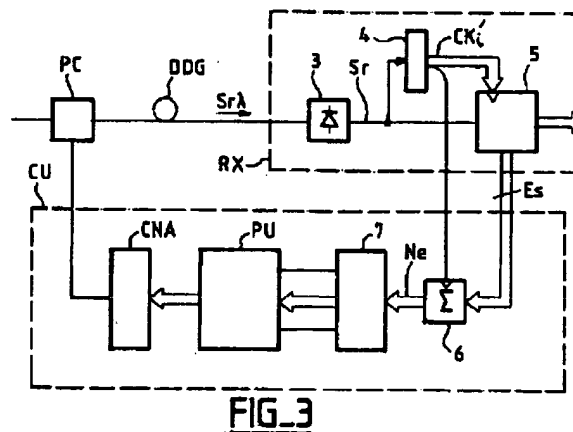
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光伝送システムにおける偏波分散補償装置

(57)【要約】

【課題】 光ファイバーによって与えられる伝送速度および伝送距離を増加するために、デジタル光伝送システムの大半がエラー検出／訂正方法を適用していることを利用して、製造コストを低減した偏波分散補償装置を提供する。

【解決手段】 この装置は、偏光コントローラPCと、2つの直交偏光モードの間で群遅延時間差を生成する手段DDGと、偏光コントローラPCの制御手段CUとを用いて受信した光信号 S_r λを処理することにより、リンクの偏波分散を補償する。送信データは、受信データを損なうエラーを検知可能にするために冗長であり、制御手段CUは前記冗長データからリアルタイムで計算されるビット誤り率を最小化するように構成される。標準ファイバーによる長距離光伝送に適用される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 偏光された光信号 ($S_{\theta\lambda}$) としてデータを送信する送信端末 (TX) と、伝送光ファイバー (LF) と、受信端末 (RX) と、任意選択で光増幅器とを含む、デジタル光伝送システム用の補償装置であり、前記補償装置が、偏波分散を補償する補償手段を含み、

前記補償手段が、少なくとも1つの偏光コントローラ (PC) と、2つの直交偏光モードの間で群遅延時間差を生成するための手段 (DDG) であり、偏光コントローラおよびその群遅延時間差生成手段がこの順番で伝送ファイバーと受信端末との間に介在する群遅延時間差生成手段と、偏光コントローラ (PC) を制御する制御手段 (CU) とを含み、

送信される前記データが、送信端末 (TX) により生成される冗長データをそれぞれが備えたフレームから構成されて、受信端末 (RX) が受信フレームを損なうエラーを検出できるようにし、前記制御手段 (CU) が、前記冗長データによりリアルタイムで計算されるビット誤り率を最小化するように構成されることを特徴とする補償装置。

【請求項2】 前記制御手段 (CU) が、複数の連続受信フレームを損なうエラー数から前記ビット誤り率の計算を実施するように構成されることを特徴とする請求項1に記載の補償装置。

【請求項3】 前記連続受信フレームの数が、送信信号 ($S_{\theta\lambda}$) および受信信号 ($S_{r\lambda}$) の間に含まれるリンク全体の主要偏光状態の方向 (θ) と、受信信号 ($S_{r\lambda}$) の偏光ベクトル (S) の方向との間の角度 (Φ) が、常に 10° 未満に留まるような応答時間および精度を制御手段が有するように構成されることを特徴とする請求項2に記載の補償装置。

【請求項4】 前記連続フレーム数が、前記角度 (Φ) を3度未満に留めるように構成されることを特徴とする請求項3に記載の補償装置。

【請求項5】 請求項1から4のいずれか一項に記載の補償装置を含むことを特徴とする光伝送システム。

【請求項6】 複数の波長分割多重チャンネル ($S_{\theta\lambda}$ 、 $S_{\theta\lambda'}$ 、 $S_{\theta\lambda''}$) を備えた信号用の光伝送システムであって、前記波長分割多重チャンネル ($S_{\theta\lambda}$ 、 $S_{\theta\lambda'}$ 、 $S_{\theta\lambda''}$) の少なくとも1つ ($S_{r\lambda}$) を、受信時に抽出する手段 (2) と、抽出したチャンネル ($S_{r\lambda}$) に結合し、請求項1から4のいずれか一項に適合する少なくとも1つの補償装置 (CM) とを含むことを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、光学的な手段によるデジタル信号伝送の分野に関し、特に、光ファイバー

【0002】 本発明は、光ファイバー伝送システムで観察される偏波分散を少なくとも部分的かつダイナミックに補償するための装置に関する。

【0003】

【従来の技術】 光ファイバー伝送システムは、一般に、
・ 伝送情報で光出力、光周波数、あるいはその両方を変調する、少なくとも1つの光搬送波を用いる送信端末と、
・ 送信端末から送信される信号を導く少なくとも1つのシングルモードファイバー区間からなる光伝送リンクと、
・ ファイバーから伝送される光信号を受信する受信端末とを含む。

【0004】 特に信号の品質および伝送速度という観点から、光伝送システムの性能は、特にリンクの光学的な特性により制限され、このリンクは、光信号を劣化作用がある様々な物理現象を被る。識別されている全ての現象のなかで、光パワーの減衰および波長分散は、最も制約的なものとして最初に現れる現象であり、こうした現象によって生じる劣化を少なくとも部分的に解消する手段が提案された。

【0005】 所定のタイプのファイバーにおける減衰は、信号搬送波の波長に依存する。従って、「標準ファイバー」と呼ばれる、最近10年間に設置されたシングルモードファイバーは、波長が約 $1.5\mu\text{m}$ であるとき減衰が最小になるので、搬送波としてこの値を選択することが有利である。また、伝送距離をさらに延ばすために、リンクの上流または下流に、あるいはリンクの全長に沿って、光増幅器を配置することにより、減衰を補償することができた。

【0006】 波長分散の問題は、標準ファイバー ($1.5\mu\text{m}$ で約 $17\text{ps}/(\text{km}\cdot\text{nm})$) では顕著である。1つの解決方法は、少なくとも1つの「分散補償ファイバー: DCF (Dispersion Compensating Fiber)」をリンクに挿入することからなる。

【0007】 現在まで、上記の補償は、「偏波分散」と呼ばれる好ましくない別の現象を考慮に入れたことはない。光伝送システムの現行の利用条件では、この現象は、長い間、波長分散に比して無視できるものとみなされてきた。だが、リンクの距離をさらに延ばそうとし、また特に伝送速度を増やそうとする以上、もはやこの現象を無視することはできない。

【0008】 たとえ波長分散がなくても、また送信機のレベルでレーザダイオードから供給される搬送波が完全に偏光されても、ファイバーは、たとえば送信端末から送られるパルスがファイバー内を伝播後に変形されて受信されもとの継続時間 (duration) よりも長い継続時間を有する、という結果をもたらす偏波分散を被る。

よるものであり、その結果、伝送中に光信号の偏光が乱れる。おおよそのところ、リンクファイバーの端で受信した信号は、2個の直交成分から構成されるものとみなされ、一方の直交成分は、伝播速度が最高である偏光状態（最も速い主要偏光状態）に対応し、他方の直交成分は、伝播速度が最低である偏光状態（最も遅い主要偏光状態）に対応する。換言すれば、リンクファイバーの端で受信したパルス信号は、標準的な偏光状態に従って偏光されて最初に到着する第1のパルス信号と、遅延伝播状態に従って伝播されて、「群遅延時間差：DGD (Differential Group Delay)」と呼ばれる遅延を伴って到着する第2のパルス信号とから構成されるとみなされる。DGDは、特にリンクファイバーの距離に依存する。従って、この2つの主要偏光状態 (PSP: Principal States of Polarisation) が、リンクを特徴づける。

【0010】そのため、送信端末が、非常に短いパルスからなる光信号を送信する場合、受信端末が受信する光信号は、DGDに等しい時間差を有する2個の直交偏光された連続パルスから構成される。端末による検出は、受信した光パワー全体の測定結果を電氣的に与えることからなるので、検出されるパルスの継続時間は、DGDの値に応じて増加する。

【0011】この遅延は、距離100キロメートルの標準ファイバーの場合、約50ピコ秒とすることができる。受信端末が受信するパルスが変形していると、伝送データの復号化エラーを引き起こし、その結果として、偏波分散は、アナログおよびデジタルの光リンクの性能を制限するファクターになる。

【0012】現在、偏波分散が小さい（約0.05 ps/√km）シングルモードファイバーを製造することが知られている。しかしながら、既に設置された「標準ファイバー」の場合は問題が残り、これらの標準ファイバーは、偏波分散が非常に大きいことから、伝送速度が増加する場合に、技術的に重大な障害になる。一方で、この問題は、伝送速度をさらに増加したいときには、偏波分散の小さいファイバーに対しても発生する。

【0013】さらに、偏波面保存光ファイバー (PMF: Polarisation Maintaining Fiber) とも称される偏波分散の大きいファイバーを実現することが知られており、偏波面保存光ファイバーは、短い距離の区間で使用され、主要偏光状態が不変である固定の群遅延時間差を得ることができる。このような構成部品（すなわち2つの直交偏光モードの間で遅延時間差を生成するあらゆる装置）を、偏波分散を有する伝送リンクと直列に適切に配置することによって、偏波分散を光学的に補償することができる。これは、伝送リンクと同じDGDのある偏波面保存光ファイバーを使用するが、低速と高速の主要偏光状態を交互に

存光ファイバーからなる全体の主要偏光状態を、送信時のソースの偏光状態と一致させることによって実現できる。このために偏光コントローラを伝送リンクと偏波面保存光ファイバーの間に設置する。

【0014】偏波分散現象の重要な特徴は、群遅延時間差の値DGDと伝送リンクの主要偏光状態とが、振動や温度などの多数のファクターに応じて経時的に変化することにある。従って、波長分散とは違い、偏波分散はランダムな現象であるとみなさなければならない。具体的には、測定されたDGDの平均値として定義される「PMD (Polarisation Mode Dispersion Delay: 偏波分散遅延)」の値によって、伝送リンクの偏波分散が特徴づけられる。

【0015】より詳しくは、ポアンカレ空間で、ランダムな回転ベクトル Ω により偏波分散を示すことができる。ポアンカレ空間では、ストークスベクトル (Stokes' vector) といわれる偏光状態ベクトル S により偏光状態を示す。ベクトルの先端は、球に配置される。図1は、関連する主要ベクトル、すなわち、偏光状態ベクトル S 、偏波分散ベクトル Ω 、および主要偏光状態ベクトル e を示し、 ϕ は、 S と Ω との間の角度である。

【0016】ベクトル e および Ω の方向は同じであり、関係式 $\partial S / \partial \omega = \Omega \times S$ が得られる。ここで、 ω は光波の角周波数、記号 \times は、ベクトル積を示す。

【0017】係数 Ω は、群時間差であり、すなわちリンクの偏光の2つの主要状態に応じて偏光される2つの光波の間の伝播遅延である。

【0018】こうしたランダムな特徴がもたらす結果として、補償装置は適応性のあるものでなくてはならず、また偏波面保存光ファイバーの群遅延時間差は、補償を望む群遅延時間差の最大値に少なくとも等しくなるように選択しなければならない。理想的には、補償は、送信信号および受信信号の間に含まれるリンク全体の主要偏光状態 e の方向が、受信信号の偏光ベクトル S の方向と常に一致するようにしなければならない。換言すれば、先に定義した角度 ϕ を、できるだけ小さく保持しなければならない。

【0019】このような偏波分散補償装置は、欧州特許出願EP-A-853395号（1997年12月30日出願、1998年7月15日公開）に記載されている。この装置は、受信機の上流に配置されており、少なくとも1つの偏光コントローラと、2つの直交偏光モードの間で群遅延時間差を生成するための手段と、偏光コントローラの制御手段とを含む。

【0020】この特許出願に記載された実施形態によれば、群遅延時間差生成装置からの信号の偏光度を最大にするように、制御手段が構成されており、群遅延時間差生成装置は、一般には偏波面保存光ファイバーから構成される。

装置DDGから送られる光信号の検出によって電気信号を得て、この電気信号の変調のスペクトル幅を最小にすることをめざしている。測定パラメータとしてはまた、前記2つのパラメータの加重積、すなわち $DOP \times \Delta \omega y$ の形をとるパラメータ p を使用可能である。このとき、 DOP は偏光度、 $\Delta \omega$ はスペクトル幅、 x 、 y は、該当する伝送システムに対して最適化される加重係数である。

【0022】制御ループ全体の実際の構成は、PMDの問題に適合する性能を持たなければならない。特に、その応答時間は、実際に観察されるDDGの変動の高速性に適応しなければならない。さらに、所望の改善レベルが高ければ、いっそうの精度を確保しなければならない。こうした精度に関する条件は、送信信号および受信信号の間に介在するリンク全体の主要偏光状態の方向 θ と、受信信号の偏光ベクトル S の方向との間の角度 ϕ を、必要な改善を可能にするデータ値未満に常に留めることといえることができる。

【0023】実験によれば、この角度 ϕ は一般に、10度未満、好適には3度未満に留めなければならない。

【0024】偏光ベクトル S は、毎秒50回まで回転するので、そこから、所望の信号の品質に応じて制御ループに課すべき最大応答時間を導くことができる。一般的なケースでは、 N_m が、偏光ベクトル S の1秒あたりの最大の回転数、 ϕ_m が角度 ϕ に課される最大角度であるとき、最大応答時間は $t_r = \phi_m / (N_m \cdot 360)$ 秒である。

【0025】かくして、 $N_m = 50$ 、 $\phi_m = 10^\circ$ である時、応答時間 t_r は、0.55msである。

【0026】測定パラメータの選択とは別に、これらの制約を考慮すれば、測定装置、信号処理装置、作動装置（偏光コントローラ）の性能が、補償の有効性にとって重要である。

【0027】理論的な観点から、測定パラメータとしての最良の選択の1つは、上記の偏光度であると思われる。何故なら、このパラメータとPMDによるビット誤り率の劣化との間には良好な相関関係があるからである。しかも、その測定は、光学コンポーネントおよび専用の電子回路により迅速に実施可能である。しかしながら、この解決方法を正確に実施するには、コストが高い。

【0028】電気信号の変調のスペクトル幅は、受信機の電子部分のレベルにおいてのみ実施されるので測定が比較的安価であるが、このパラメータは必ずしもPMDと良好な相関関係にあるわけではないので、時には、あまりよくない結果が出ることもある。

【0029】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、デジタル光伝送システムの大半がエラー検出／訂正方法を適

トを減らすことにある。

【0030】

【課題を解決するための手段】このため、本発明は、偏光された光信号としてデータを送信する送信端末と、伝送光ファイバーと、受信端末と、任意選択で光増幅器を含む、デジタル光伝送システム用の補償装置を目的とし、前記補償装置が、偏波分散を補償する補償手段を含み、前記補償手段が、少なくとも1つの偏光コントローラと、2つの直交偏光モードの間で群遅延時間差を生成するための手段であり、偏光コントローラおよびその群遅延時間差生成手段が伝送ファイバーと受信端末との間にこの順序で介在する群遅延時間差生成手段と、偏光コントローラを制御する制御手段とを含み、送信される前記データが、送信端末により生成される冗長データをそれぞれが備えたフレームから構成されて、受信端末が受信フレームを損なうエラーを検知できるようにし、前記制御手段が、前記冗長データによりリアルタイムで計算されるビット誤り率を最小化するように構成されることを特徴とする。

【0031】本発明は、さまざまな考察に基づいている。最初の考察は、瞬間的なビット誤り率を測定可能である場合、これが、制御に対して適正なパラメータを構成するという考えである。受信機レベルで検出される伝送エラーは、PMD以外の多数の原因を持つことがあるが、しかし実際には、PMDが、上記の高速性の変動を有する唯一の妨害である。従って、瞬間的なビット誤り率の高周波変動が、単にPMDによるものであると、そこから導くことができる。その結果、PMDの制約に対処するために応答時間を十分に短くして瞬間的なビット誤り率を最適化することに基づいた制御を実現できた場合、結果として得られる補償は、PMDの影響だけを考慮したものになるはずである。

【0032】だが、こうした考案の実施は、統計的に意味のある測定を行うために十分な数のデータを受信しなければならないので、ビット誤り率の直接測定を厳密に瞬間的には行うことはできないという問題を提起する。

【0033】別の考察は、通常のあるいは標準化されたエラーの検出および訂正方法により、連続データブロックを対象とするビット誤り率を直接計算可能であるということである。これらの計算の結果は、各ブロックを構成するデータ数が多いだけに、瞬間的なビット誤り率のサンプリング測定をますます有意義なものにする。さらに、ブロックサイズが、選択された検出、訂正、あるいはその両方のコードにより固定される場合、測定の遅延は、伝送速度が速ければますます少なくなる。事実、送信データは、それぞれが冗長データを含むフレームから組織され、受信端末が受信フレームを損なうエラーを検知できるようにしている。ビット誤り率は、少なくとも1つのフレーム全体、すなわちフレームのフォーマット

い。伝送速度が非常に遅いと、1つのフレームを受信するのに必要な時間がかかりすぎて、十分に迅速な制御の応答をすることができないが、伝送速度が速いと、状況はずっと好都合になる。

【0034】たとえば、海底伝送システムに対してITU-T勧告のG. 975により定義されているエラー訂正コードの場合、フレームは32640ビットから構成される。毎秒10メガビットの伝送速度ではフレームの読み取り時間が3msであるが、毎秒10ギガビットの伝送速度では、この時間がたったの3 μ sになる。この遅延を、制御のために先に述べた応答時間0.55msと比較すべきである。

【0035】さらに、フレーム毎に検出されるエラー数は、補償信号の品質が上がると減らすことができる。その場合、信号品質の評価に対して、ビット誤り率がもはやベースの役割をすることはできない。その結果、制御を最適化するアルゴリズムは、PMD補償による信号品質の改善にもはや貢献しなくなる。従って、受信した複数の連続フレームを損なうエラー数から、ビット誤り率の計算を実施できるようにすることが有利である。

【0036】しかし、ビット誤り率が非常に低い状況で、場合によって制御が有効でなくても、使用コードがエラー訂正コードであるときは、これは有害ではない。なぜなら、少ない数のエラーは一般に訂正することができるからである。しかし、訂正コードの場合でも、複数の連続フレームからビット誤り率を計算することが有効な場合がある。何故なら、それによって、限られた許容度の不連続性を前提としたビット誤り率測定をアルゴリズムに対して提供可能になるからである。しかも、制御は、上述の高速性の変動よりもずっと遅いPMD変動を同様に補償するために作動状態に保たれる。

【0037】こうした連続フレームの数は、有利には、有効なPMD補償を可能にするために制御が遵守すべき最大応答時間を考慮することによって選択される。従って、この数は、こうした最大応答時間、フレームの長さ、伝送速度、および制御の他の要素の応答時間、特に最適化アルゴリズムに依存する。

【0038】かくして、一般には、また本発明の特徴によれば、これらの連続フレームの数は、送信信号および受信信号の間に含まれるリンク全体の主要偏光状態の方向と、受信信号の偏光ベクトルの方向との間の角度が、常に10度未満、好適には3度未満に留まるような、応答時間および精度を制御手段が有するように構成する。

【0039】本発明はまた、上記の補償装置を組み込んだ光伝送システムを目的とする。システムは、単一チャンネルのシステム、すなわち、単一の波長によって搬送される信号を搬送するように構成されるシステムであるか、または、波長分割多重（「WDM」）システム、すなわち異なる波長で搬送される複数のチャンネルからな

者の場合、各チャンネルに特定の補償を実施しなければならない。そのために、本発明による装置は、受信時において、少なくとも1つのチャンネルを抽出する手段と、このチャンネルに結合される少なくとも1つの補償装置とを含む。

【0040】本発明の他の特徴および長所は、添付図面に関する以下の説明から明らかになるであろう。

【0041】

【発明の実施の形態】図2は、本発明による補償装置を備えた光伝送システムを、例として概略的に示す図である。

【0042】図示された例は、それぞれ波長 λ 、 λ' 、 λ'' の搬送波により複数のチャンネル $S \in \lambda$ 、 $S \in \lambda'$ 、 $S \in \lambda''$ を搬送するように構成された波長分割多重システムである。各チャンネル、たとえば $S \in \lambda$ は、偏光された搬送波の振幅変調（または光周波数変調、またはこれらの両方）として光信号を送信する送信端末TXから発生する。チャンネルは、マルチプレクサ1で結合され、マルチプレクサの出力は、伝送光リンクに結合される。このリンクは、一般に光ファイバーLFから構成され、ファイバーの上流およびまたは下流に配置される光増幅器（図示せず）を含むことができる。リンクは、また、複数のファイバー区間から構成可能であり、この区間の間に光増幅器が配置される。

【0043】リンクの端は、受信機RXに向けられたチャンネル $S \in \lambda$ を抽出する役目をするデマルチプレクサ2を介して、少なくとも1つの受信端末例えばRXに接続される。

【0044】システムは、デマルチプレクサ2と受信機RXとの間に配置された偏波分散補償手段CMを含む。この偏波分散補償手段は、少なくとも1つの偏光コントローラPCと、2個の直交偏光モードの間に群遅延時間差を生成する手段DDGと、偏光コントローラPCの制御手段CUとを含む。

【0045】群遅延時間差生成装置DDGは、たとえば偏波面保持光ファイバーから構成される。制御手段CUは、受信機RX内のデコーダにより検出されるエラー数からビット誤り率を計算し、ビット誤り率を最小にするように構成される。

【0046】単一チャンネルシステムの場合は、マルチプレクサ1およびデマルチプレクサ2がないことが、前述のシステムと異なる。

【0047】図3は、本発明を実施するために有効な受信機の一部と、補償装置の制御手段CUとをより詳細に示している。

【0048】受信機には、群遅延時間差生成装置DDGから送られる光信号 $S \in \lambda$ を電気信号 S_r に変換するフォトダイオード等の検出器3を含む。電気信号 S_r は、クロック再生回路4およびデコーダ5により受信され

必要なクロック信号CKi'をデコーダ5に供給する。

【0049】一般に、エラー検出／訂正コードに対して、デコーダ5は、各受信フレームに対し、このフレームで検出されたエラーの数および場所を示す複数のエラーシンドロームを計算する。これらのシンドロームに応じて、デコーダ5は、エラー数がコードの訂正許容量を超えない範囲で実施すべき訂正を決定する。デコーダはまた、各フレームを損なうエラー数も決定する。

【0050】たとえばリードソロモン型の、複数のインターリーブされた符号を使用する特定の実施形態によれば、デコーダは、対応する複数のエラー数Esを供給する複数の基本デコーダを含む。制御手段CUは、これらの数を受信して、その和を計算するように構成された加算手段6を含む。この和Neは、インターフェース回路7を介して二進数として計算機PUに送られる。

【0051】計算機PUの出力は、DA変換器DACを介して偏光コントローラPCを制御する。

【0052】計算機PUは、測定されるビット誤り率を最小値に保持するように、偏光コントローラPCに与えるべきコマンドを決定するための最適化アルゴリズムを実行するようにプログラムされる。

【0053】計算機PUにより受信される連続エラー数Neは、ビット誤り率を知らせる。ビット誤り率は、このように各フレームを受信後に更新可能であり、瞬間的なビット誤り率のリアルタイムのサンプリング測定値とすることができる。

【0054】最適化アルゴリズムを実施するため、計算機は、最適化パラメータとして、各フレームで検出されるエラー数Neを単に使用することもできる。この解決方法により、制御の応答時間を最適にすることができる。

【0055】しかしながら、先に述べた理由から、より適切なパラメータは、複数の連続受信フレームを損なうエラー数の累積である。この動作モードは、たとえば各フレームで検出されたエラー数が所定値未満になる場合に自動的に実行されるようにプログラミングしてもよい。

【0056】最適化アルゴリズムは、偏光コントローラの少なくとも2個の変数パラメータを制御するような多次元のタイプである。このタイプのアルゴリズムは数多く存在し、たとえば、William H. Press 他による「Numerical Recipes in C」(Cambridge University Press 1994年)と題するマニュアルの412～420ページに記載されたような、いわゆるパウエルの方法(Powell Method)を実施するように構成されたアルゴリズムを使用することができる。

【0057】制御ループ全体の性能は、PMDの問題に適合させなければならない。特に、その応答時間は、実際

らない。さらに、制御ループは、送信信号Seλおよび受信信号Srλの間に含まれるリンク全体の主要偏光状態の方向eと、受信信号Srλの偏光ベクトルSの方向との間の角度φを、信号の品質の所望の改善を可能にする所定値未満に常に留めるように、十分な精度を持たなければならない。

【0058】実験によれば、この角度は一般に10度未満、好適には3度未満に留めなければならないことが分かった。

【0059】偏光ベクトルSは、50回/秒まで回転可能であるので、そこから、所望の信号品質に応じて、制御ループに課すべき最短応答時間を導くことができる。応答時間は、実際には、たとえば1ミリ秒未満でなければならない。

【0060】好適な実施形態を示すために、ITU-T勧告G.975の対象となっている「海底システム用前方向誤り訂正(Forward error correction for submarine systems)」と題するコードの場合、本発明をどのように実施可能であるか、次に説明する。だが、説明を簡潔にするために、この勧告に含まれる詳細の全てを記載するというわけではない。

【0061】周知のように、エラー訂正コードは、インターリーブされた複数のリードソロモンコードを使用する。リードソロモンコードの各々は、8ビットの記号を対象としており、RS(255、239)型であって、すなわち255バイトからなるコード語で組織され、そのうちの239個が情報バイトで、16個が冗長バイトである。RS(255、239)コードは、16個のエラーシンドロームを生成し、255バイトの各コード語で同時に8個のエラーバイトを訂正することができる。

【0062】その場合、インターリーブ操作および並列一直列(パラレルーシリアル)変換が、フレームを形成する。インターリーブされたRS(255、239)コードの数は、たとえば16個であるので、32640ビットの各フレームで1024ビットのエラーまで訂正可能である。

【0063】図4は、例としての送信機TXのコーダ部分の原理図である。説明を簡単にするために、インターリーブRS(255、239)コードが4個しかない場合を示した。図5は、コーダを制御するクロック信号のクロノグラムを示している。

【0064】伝送すべき情報データは、当初、電気信号Eeの形態をとる直列(シリアル)二進データであると仮定する。データは、図5に示したクロック信号CK0の速さで同期される。期間Tは、直列電気信号Eeのビット時間に対応する。

【0065】直列電気信号Eeはまず、バイトを形成するように直列ー並列変換装置を通る。直列ー並列変換装

構成され、その直列入力で信号E_eを受信し、クロックCK0によりシフト制御される。

【0066】シフトレジスタ9の並列（パラレル）出力は、4個の8ビットレジスタ11～14の入力にそれぞれ接続されている。これらのレジスタへの書き込みイネーブルは、図5に示されたクロック信号CK1～CK4によりそれぞれ制御される。各クロック信号は期間4Tを有し、そのうちの3個は、4番目の期間に対してそれぞれT、2T、3Tだけ時間シフトされている。

【0067】レジスタ11～14の出力はそれぞれ、RS（255、239）コーダ21～24の入力に接続されている。コーダは、クロック信号CK1～CK4によりそれぞれ書き込みを同期され、またクロック信号CK1'～CK4'によりそれぞれ読み込みを同期される。クロック信号CK1'～CK4'は、クロック信号CK1～CK4と同様だが、これらのコーダから発生する冗長データの挿入を補償するため、出力伝送速度を上げるように周波数が高くされている。

【0068】コーダ21～24の出力は、出力バッファレジスタ31～34に接続され、その読み込みイネーブルは、クロック信号CK1'～CK4'によりそれぞれ制御される。

【0069】レジスタの出力31～34は、それぞれ出力シフトレジスタ15の並列入力に接続されており、出力シフトレジスタ15は、信号CK1'～CK4'の4倍の周波数のクロックCK0'によりシフト制御される。出力シフトレジスタ15の直列出力は、直列信号S_eを送り、この信号は次に、電気-光学変換器16により光信号S_eλに変換される。光信号S_eλは、場合によっては光増幅した後で、電送ファイバーに結合される。

【0070】図6は、対応する受信機のデコーダの一例と、本発明を実施するための追加手段とを示している。

【0071】伝送後に受信した光信号S_rλは、まず光検出器3により直列電気信号S_rに変換される。直列電気信号S_rは、先に定義したクロック信号CK0'～CK4'を受信機内で生成するように構成されたクロック再生回路17に送られる。電気信号S_rはまた、容量が8ビットでクロック信号CK0'によりシフト制御されるシフトレジスタ10の入力に送られる。

【0072】シフトレジスタ10の並列出力は、4個の8ビットレジスタ41～44の入力にそれぞれ接続され、その書き込みイネーブルは、クロック信号CK1'～CK4'によりそれぞれ制御される。レジスタ10および41～44は、かくして、直列-並列変換操作および受信フレームのインターリーブ解除操作を実施する。

【0073】レジスタ41～44の出力は、RS（255、239）デコーダ51～54の入力にそれぞれ接続されている。デコーダは、クロック信号CK1'～CK

【0074】デコーダ51～54は、それぞれ直前に受信しデコードしたフレームにおいてそれぞれ検出したエラー数を示すそれぞれの信号Es1～Es4を送る。これらの信号Es1～Es4は、それぞれ二進数のフォーマットを有し、和を示す信号Neを生成可能な加算装置6の入力に送られる。

【0075】信号Neは、リンクのインターフェース7を介して計算機PUに伝送される。

【0076】リードソロモン型のコーダおよびデコーダは、それ自体既知であるので詳述しない。こうしたコーダおよびデコーダを構成するため、たとえばSHULINおよびDaniel J. COSTELLO, JR（1983年 Prentice-Hall）による「Error control coding」と題するマニュアルを参照することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ポアンカレ空間を示す図である。

【図2】本発明による補償装置を含む光伝送システムを概略的に示す図である。

【図3】本発明による補償装置の制御手段をより詳しく示す図である。

【図4】情報データと、エラーを検出および訂正する冗長のデータとを含む送信フレームを構成する役割をするコーダの一例を示す図である。

【図5】図4のコーダのクロック信号のクロノグラムである。

【図6】対応する受信機のデコーダの一例と、本発明を実施するための追加手段とを示す図である。

【符号の説明】

λ、λ'、λ" 波長

S_eλ、S_eλ'、S_eλ" チャンネル

TX 送信端末

RX 受信端末または受信機

LF 光ファイバー

CM 偏波分散補償手段

PC 偏光コントローラ

CU 制御手段

DDG 群遅延時間差生成手段

PMF 偏波面保存光ファイバー

PU 計算機

DAC DA変換器

E_e 電気信号

CK0、CK1、CK2、CK3、CK4 クロック信号

1 マルチプレクサ

2 デマルチプレクサ

3 検出器

4 クロック再生回路

5 デコーダ

7 インターフェース回路

9 直列並列変換装置

11、12、13、14 レジスタ

15 出力シフトレジスタ

16 電気-光学変換器

17 クロック再生回路

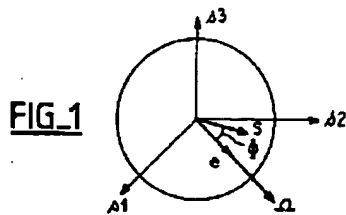
21、22、23、24 RS (255、239) コーダ

31、32、33、34 出力バッファレジスタ

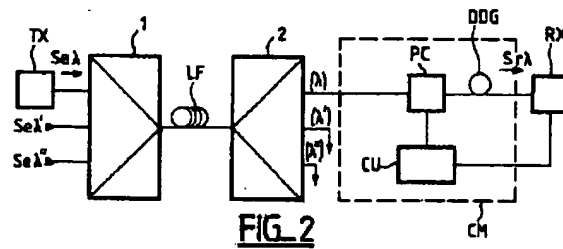
41、42、43、44 8ビットレジスタ

51、52、53、54 デコーダ

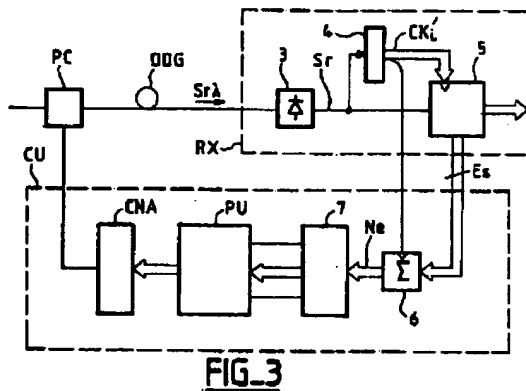
【図1】



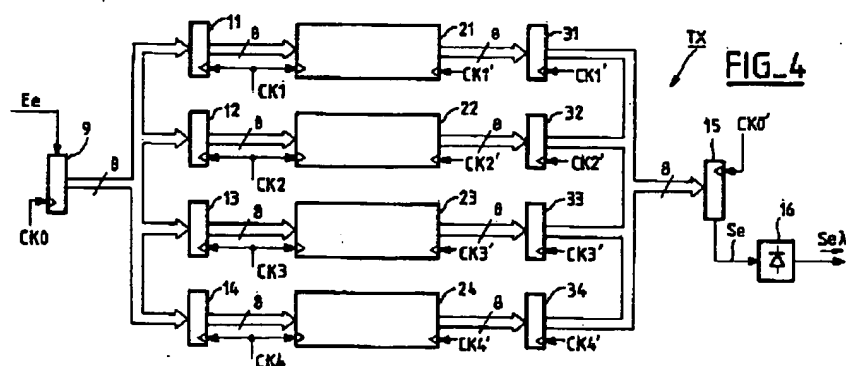
【図2】



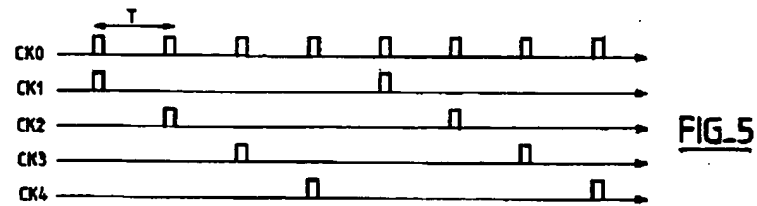
【図3】



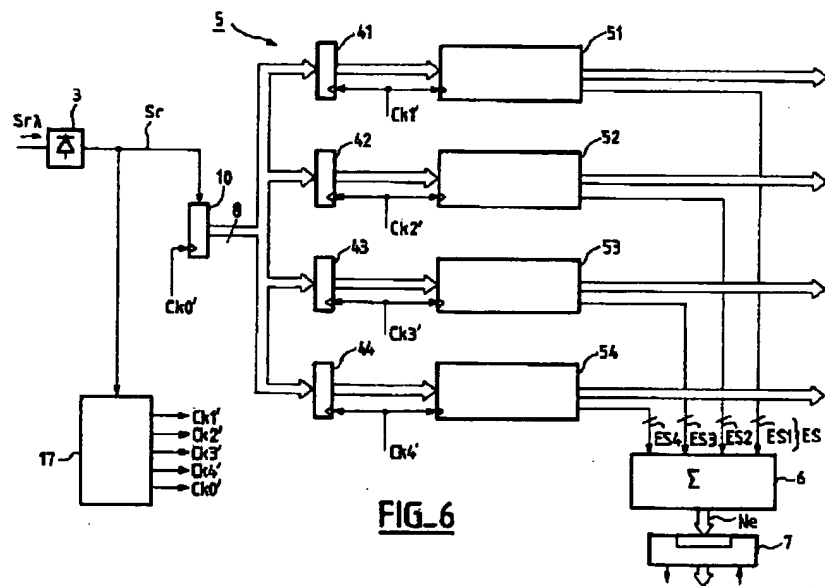
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 ドウニ・ペナックス
 フランス国、91620・ノザイ、リュ・パス
 トゥール、5